

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Национальный университет кораблестроения
имени адмирала Макарова

Б. Н. Михайлов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических заданий
по конструкции корпуса судна

Часть 1

Рекомендовано Методическим советом НУК

Николаев 2006

УДК 629.5.02

Михайлов Б.Н. Методические указания по выполнению практических заданий по конструкции корпуса судна. – Николаев: НУК, 2006. – Ч. 1. – 28 с.

Кафедра конструкции корпуса корабля

Изложен основной материал для начальной стадии изучения дисциплины "Конструкция корпуса корабля". Приведены основные понятия и терминология по этой дисциплине, характерные конструкции современных судов и методика определения геометрических характеристик поперечного сечения и напряжений от общего продольного изгиба корпуса. Общие затраты времени для усвоения изложенного материала и выполнения практических заданий составляют 20 часов.

Указания предназначены для студентов кораблестроительного факультета.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Кочанов Ю.П.

ВВЕДЕНИЕ

Для изучения дисциплины "Конструкция корпуса корабля" прежде всего необходимы знание основных используемых в дисциплине терминов и определений, умение вычислять геометрические характеристики любых сечений конструкции и напряжения от общего продольного изгиба в отдельных связях корпуса судна.

Этим вопросам, а также начальному знакомству с конструкцией современных судов и анализу их конструктивных характеристик посвящена первая часть методических указаний. В скобках указаны аналоги основных терминов на английском языке.

В основу указаний легли методические разработки кафедры конструкции корпуса корабля НУК, техническая, справочная литература и нормативные документы, действующие в судостроении в настоящее время.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ ПО КОНСТРУКЦИИ МОРСКИХ СУДОВ

Основой любого судна является корпус, обеспечивающий плавучесть, прочность, непотопляемость и другие его важнейшие качества.

Корпус (hull) судна – тонкостенная оболочка, выполненная из листов, подкрепленная балками набора из прокатных или составных сварных профилей. Оболочка, в свою очередь, состоит из обшивки и настилов.

Обшивка (shell plating) – совокупность листов, образующих нижнюю и боковые поверхности оболочки судна (днище и борта).

Настил – совокупность листов, образующих горизонтальные поверхности (палубы, платформы и второе дно – *decks, platforms, tank top*).

Соединения листов параллельно диаметральной плоскости (ДП) называются *пазами (seams)*, а перпендикулярно ей – *стыками (butts)*. На

рис. 1 приведен эскиз части оболочки корпуса судна. Все листы оболочки подкрепляются балками набора, устанавливаемыми на определенном расстоянии друг от друга.

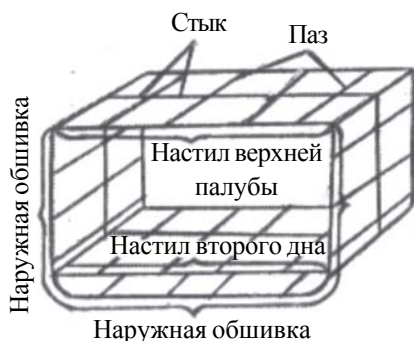


Рис. 1

корпуса, подкрепленный набором и ограниченный опорным контуром (перекрытиями других направлений).

Переборка (bulkhead) – вертикальное перекрытие, разделяющее корпус судна на отсеки (помещения).

Форпик (forepeak) – крайний носовой отсек, ограниченный таранной (форпиковой) переборкой.

Ахтерпик (afterpeak) – крайний кормовой отсек, ограниченный ахтерпиковой переборкой.

Настил второго дна (tank top) – горизонтальная непроницаемая листовая конструкция – верхняя граница днищевого перекрытия.

Судно может иметь одну или несколько палуб, которые нумеруются сверху вниз, и ряд платформ.

Верхняя палуба (ВП) (upper deck) – самая верхняя, непрерывная по всей длине судна палуба (рис. 2). Если судно двухпалубное, то вторая называется "нижней палубой".

Платформа (platform) – конструкция, аналогичная палубе, но идущая не по всей длине судна.

Трюм (hold) – грузовое помещение, ограниченное по длине поперечными переборками, а по высоте – днищевым перекрытием и ближайшей палубой или платформой.

Твиндек (tweendeck) – межпалубное помещение.

На верхней палубе располагаются надстройки и рубки, а корпус делится поперечными и нередко продольными переборками на отсеки.

Надстройка (superstructure) – закрытое палубой сооружение на ВП шириной не менее 96 % от ширины судна.

Шпация (spacing) – расстояние между регулярными (основными) балками набора. Шпация может быть различной для балок разного направления и меняться по длине судна.

Подкрепленные балками листы образуют перекрытия: днищевые, бортовые, палубные и переборки.

Перекрытие (grillage) судна – участок обшивки или настила

Рубка (deck house) – закрытое палубой сооружение шириной менее 96 % от ширины судна.

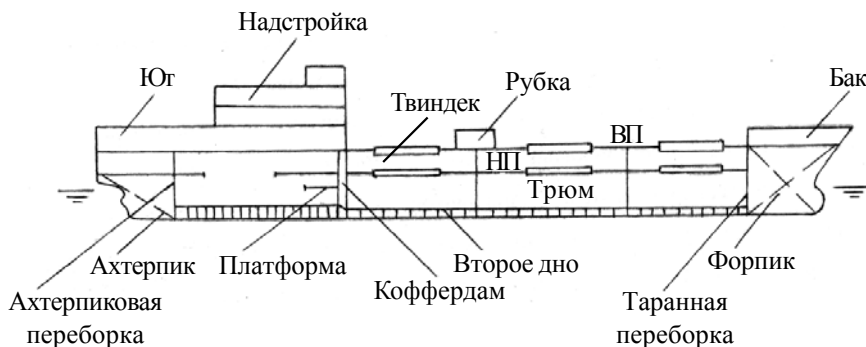


Рис. 2

Бак (forecastle) – надстройка в носовой части судна, начинающаяся от форштевня.

Ют (poop) – надстройка в кормовой части судна, доходящая до кормовой оконечности.

Переборка форпиковая/таранная (forepeak bulkhead) – первая носовая поперечная водонепроницаемая переборка.

Переборка ахтерпиковая (afterpeak bulkhead) – последняя поперечная водонепроницаемая переборка в кормовой оконечности судна.

Ковфердам (cofferdam) – изолирующее помещение между двумя близко расположенными переборками.

Листы, входящие в состав корпуса, называются по месту их расположения. Например: лист бортовой (днищевой) обшивки, настила верхней палубы или второго дна.

Листы, расположенные в районе соединения перекрытий и в диаметральной плоскости, имеют следующие собственные названия (рис. 3):

1 – *палубный стрингер (deck stringer)* – крайний лист настила верхней палубы, примыкающий к борту;

2 – *ширстрек (sheerstrake)* – крайний лист бортовой обшивки, примыкающий к верхней палубе;

3 – *скуловой лист (bilge plate)* – лист наружной обшивки в районе соединения днища и борта;

4 – *горизонтальный киль (flat plate keel)* – лист днищевой обшивки, расположенный в ДП;

5 – *междудонный лист (margin plate)* – крайний лист настила второго дна, примыкающий к наружной обшивке.

Балки набора различаются по следующим основным признакам:
 по месту расположения (днищевые, бортовые, палубные);
 по направлению (продольные, поперечные, вертикальные);
 по функциональному назначению (балки, воспринимающие основные нагрузки, и вспомогательные – подкрепляющие, обеспечивающие в основном только устойчивость элементов набора и панелей. Например: продольные *днищевые ребра жесткости (bottom longitudinalinals)* – 6; *подкрепляющее ребро жесткости флора (floor stiffener)* – 7 (см. рис. 3));
 по размерам поперечных сечений (обычные – регулярные и рамные, усиленные).

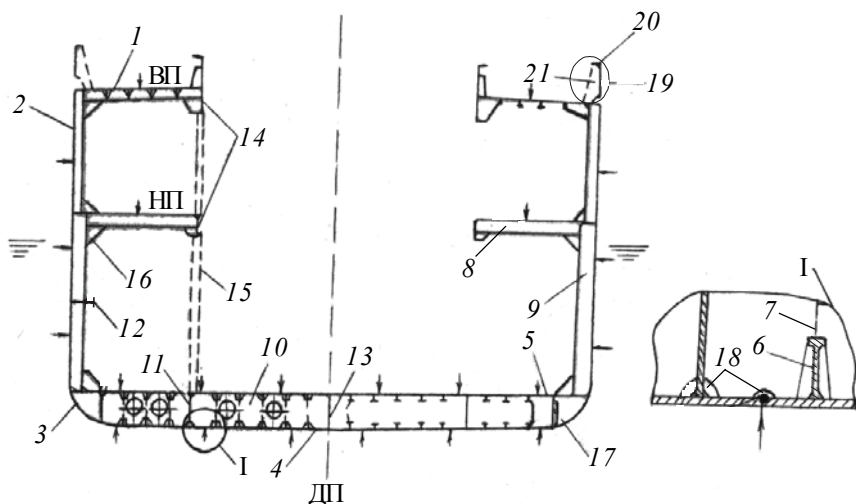


Рис. 3

Рамные балки нередко являются элементами кольцевых рам, образованных балками смежных перекрытий, например кольцевая рама из бимса, шпангоута и флора.

На рис. 3 также показаны:

8 – *бимс (deck beam)* – поперечная палубная балка;

9 – *шпангоут (frame)* – бортовая поперечная балка, подкрепляющая наружную обшивку;

10 – *флор (floor)* – рамная днищевая поперечная связь, подкрепляющая наружную обшивку;

11 – *стрингер днищевой (keelson)* – рамная продольная днищевая связь;

12 – *стрингер бортовой (side stringer)* – рамная продольная бор-

товая связь;

13 – *вертикальный киль (vertical keel)* – днищевой стрингер, расположенный в ДП.

Карлингс (carling) – рамная продольная палубная балка.

Комингс (coaming) – конструкция, окаймляющая (ограждающая) вырезы.

14 – *комингс-карлингс (coaming-carling)* – комингс, являющийся карлингсом;

15 – *пиллерс (pillar)* – вертикальная, отдельно стоящая стержневая конструкция для опоры палубных перекрытий.

Для передачи усилий между смежными конструкциями, обеспечения жесткости и устойчивости их элементов используются кницы и бракетты:

16 – *кница (knee)* – треугольная соединительная, подкрепляющая связь;

17 – *бракета (bracket)* – узловая подкрепляющая связь нетреугольной формы.

Для облегчения процесса и повышения качества сборки и сварки деталей конструкций, перетока воздуха и небольших количеств воды (либо других жидкостей) по их краям делаются небольшие вырезы – шпигаты:

18 – *шпигат (scallop)* – технологический вырез по краям связей размером не более нескольких их толщин (дренажное, сливное отверстие – *drain hole, scupper*).

Защитные, ограждающие функции на открытых палубах выполняют фальшборт и леерное ограждение:

19 – *фальшборт (bulwark)* – палубная ограждающая конструкция в районе бортов, имеющая обшивку;

20 – *планишь (bulwark rail)* – деталь, окаймляющая верхнюю кромку фальшборта.

Кроме того, фальшборт имеет стойки 21 (*stays*), с помощью которых он крепится на палубах.

Леерное ограждение (guard railing, life rails) – палубная ограждающая конструкция из изолированных стоек и тросов (труб, цепей, канатов).

В оконечностях корпуса устанавливаются усиленные связи.

Штевень – концевая балка, замыкающая корпус судна в оконечностях: форштевень (*stem*) – в носовой, ахтерштевень (*sternpost*) – в кормовой.

На практических занятиях, кроме универсального сухогрузного судна, рассматриваются конструкции и других распространенных типов су-

дов. На рис. 4 приведен эскиз конструктивного мидель-шпангоута судна для перевозки наливных грузов – танкера типа "Победа" дедвейтом 67980 т. Это судно предназначено для перевозки четырех сортов нефти и нефтепродуктов одновременно в разных грузовых танках. Судно имеет 16 танков, два из которых – отстойные. Двойное дно и двойные борта судна не только снижают вероятность вылива нефтепродуктов при столкновениях и посадках на мель, повышают его живучесть, но также существенно улучшают условия зачистки танков после выгрузки груза и размещения водяного балласта, запасов пресной воды и топлива, в том числе для обеспечения необходимой посадки судна и уменьшения внешних воздействий на его корпус благодаря перераспределению нагрузки по длине судна.

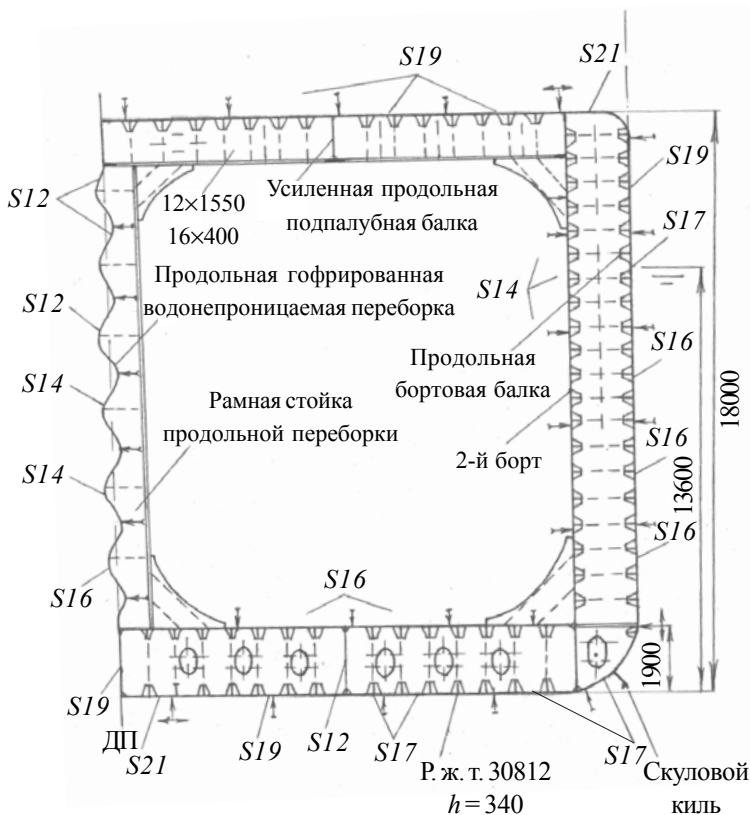


Рис. 4

В конструкции, в районе грузовой части судна, использован листо-

вой прокат из низколегированной стали марки 15ГБ с пределом текучести 355 МПа, а профильный прокат – из низколегированной стали 10ХСНД – 390 МПа.

На рис. 5 приведен эскиз мидель-шпангоута нефтенавалочного судна типа "Борис Бутoma" дедвейтом 109640 т, служащего для перевозки нефтепродуктов и навалочных грузов, таких, как руда и зерно. Судно имеет десять трюмов, три из которых приспособлены для перевозки тяжелой руды с погрузочной кубатурой до 0,3 м³/т. Нефтепродукты, как и многие другие, более легкие грузы, могут перевозиться во всех трюмах одновременно. Судно имеет двойное дно, двойные борта, скуловые и подпалубные цистерны, улучшающие его эксплуатационные качества и технологичность грузовых операций.

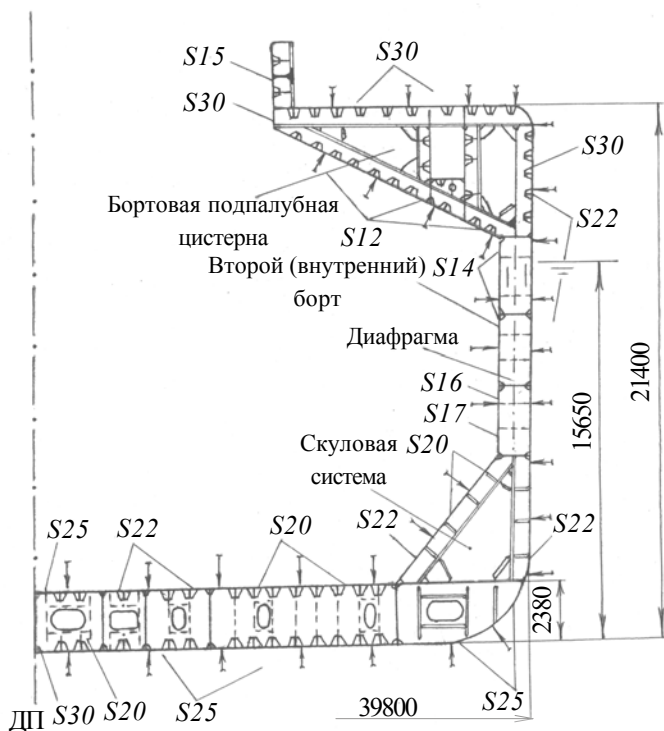


Рис. 5

Более подробно с терминологией и конструкцией корпуса можно познакомиться в справочной литературе [1–9].

2. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКВИВАЛЕНТНОГО БРУСА

Для нормирования общей продольной прочности корпуса судна необходим расчет момента инерции и момента сопротивления его миделевого и наиболее опасных поперечных сечений. Такими считаются сечения в районе больших вырезов или других конструктивных особенностей, где ожидается высокая концентрация напряжений, например сечения по грузовому люку, в районе окончания рубок и надстроек.

2.1. Условия включения связей в эквивалентный брус

Из множества деталей, составляющих конструкцию судна, в обеспечении общей продольной прочности непосредственно будет участвовать только часть из них: продольные, достаточно протяженные, непрерывные и конструктивно связанные между собой. Считается, что при моделировании совокупность всех этих деталей будет деформироваться совместно, т. е. как сплошное твердое тело, и может быть заменена единым эквивалентным брусом (рис. 6,б).

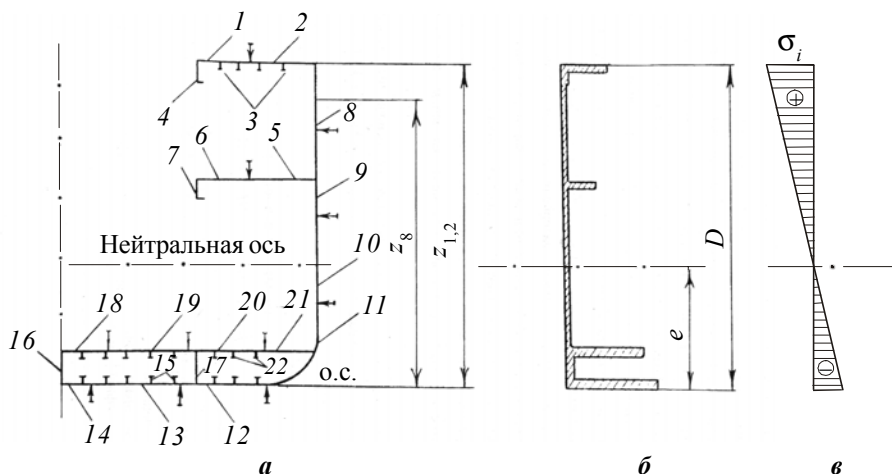


Рис. 6

Эквивалентный брус – многопоясковая балка, эквивалентная по общей продольной прочности корпусу судна, причем высота бруса равна высоте борта судна, а площадь и закон ее распределения по высоте бруса и судна одинаковы.

На рис. 6 приведены схемы продольных связей, участвующих в обеспечении общей продольной прочности (см. рис. 6,а), и эквивалентного бруса сухогрузного судна (см. рис. 6,б), мидель-шпангоут которого при-

веден на рис. 3. Связь считается достаточно протяженной для включения ее в эквивалентный брус, если она закрепляется не менее чем на двух опорах, образованных перекрытиями смежных отсеков, и длина ее не менее высоты борта судна. Степень участия в общем изгибе связей ограниченной длины, таких, как рубки, надстройки, прерывистые продольные комингсы грузовых люков, должна определяться на основании специальных расчетов [9]. Причем не рассматриваются надстройки и рубки длиной менее $0,15L$, или шести собственных высот, или имеющие опоры менее чем на три поперечные переборки в корпусе, т. е. считается, что участия в обеспечении общей продольной прочности они не принимают. На практических занятиях по расчету эквивалентного бруса комингс верхней палубы, надстройка, обшивка шахты машинного отделения, туннель гребного вала, фальшборт и балки фундамента главного двигателя в состав эквивалентного бруса не включаются.

Важен вопрос об учете вырезов в связях эквивалентного бруса. Принято считать, что ими можно пренебрегать при ширине вырезов менее 20 % ширины связи. Для рамных балок вырезы при этом должны быть расположены в средней части, т. е. в стенках балок в районе их нейтральной оси. Такие вырезы ведут к местной концентрации напряжений, которая должна компенсироваться подкреплениями: окаймляющим пояском или подкрепляющими ребрами жесткости. Вырезы шириной более 20 % ширины связей исключаются из расчетного сечения полностью или частично. На практических занятиях при расчете поперечного сечения универсального сухогрузного судна вырезы грузовых люков верхней и нижней палуб и шахты машинного отделения из расчетного сечения исключаются полностью.

На расчетной схеме сечения универсального сухогрузного судна (см. рис. 6,*а*) приведены все связи, участвующие в обеспечении общей продольной прочности и входящие в состав эквивалентного бруса.

Нумерацию рекомендуется выполнить последовательно по перекрытиям, как это показано на рис. 6,*а*. Границами связей по настилам и наружной обшивке служат пазы листов, обозначаемые на чертежах стрелками. Одинаковые связи, лежащие в одной плоскости по горизонтали, могут быть объединены и рассматриваться как одна связь с общей площадью и единым центром тяжести. Например, четыре продольных подпалубных ребра жесткости (см. рис. 6,*а*) рассматриваются под одним номером 3 как связь с площадью четырех данных ребер жесткости и общим центром тяжести.

При наличии погиби для палубных связей или подъема днища – для

днищевых центр тяжести группы одинаковых связей принимается в центре тяжести средней связи. Если таковой нет, как, например, для подпалубных ребер жесткости 3, то центр тяжести этой группы лежит на середине линии между центрами тяжести двух центральных связей, т. е. в данном случае между вторым и третьим подпалубными ребрами жесткости.

После составления расчетной схемы и нумерации связей производится расчет характеристик эквивалентного бруса.

2.2. Определение геометрических характеристик эквивалентного бруса и напряжений от общего изгиба

Важнейшими характеристиками эквивалентного бруса являются его главный центральный момент инерции относительно нейтральной оси и моменты сопротивления палубы и днища, необходимые для нормирования общей продольной прочности судна. Кроме того, площадь эквивалентного бруса – важный показатель металлоемкости, а относительная аппликата нейтральной оси (в долях от высоты борта) – один из показателей совершенства профиля поперечного сечения судна.

На практических занятиях производится расчет эквивалентного бруса в первом приближении, когда все связи, указанные в расчетном сечении (см. рис 6,*а*), считаются жесткими и ни одна из них не теряет устойчивости при действии расчетных нагрузок. Считается приемлемой гипотеза плоских сечений.

Расчет характеристик для половины сечения, ввиду его полной симметрии относительно ДП, выполняется по табл. 1.

Вначале в таблицу заносятся по группам все связи, приведенные на рис. 6,*а*, с соответствующими номерами, с указанием размеров поперечного сечения каждой из них. Протяженность поперечного сечения листов снимается непосредственно с чертежа, а для профильного проката записываются количество балок, их тип и обозначения по сортаменту. Например, четыре подпалубных ребра жесткости записываются как "р. ж. 4хГ16б". В следующую графу заносятся значения площадей каждой связи F_i – для листов это произведение их ширины на толщину, а для профильного проката значения F_i принимаются по сортаменту (см. приложение).

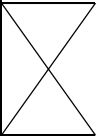
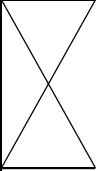


В четвертую графу записывается отстояние Z_i центра тяжести каждой связи (или группы связей) от выбранной оси сравнения в метрах. За ось сравнения рекомендуется принимать основную линию.

В пятую графу заносятся произведения площади каждой связи F_i на ее отстояние от оси сравнения Z_i , т. е. значения статических моментов площадей всех i -связей ($\text{см}^2 \cdot \text{м}$).

Таблица 1. Определение геометрических характеристик поперечного сечения корпуса судна и нормальных напряжений от общего изгиба

Номер связи	Наименование и размер, мм	Площадь связи $F_b, \text{см}^2$	Отстояние от оси сравнения $Z_i, \text{м}$	Статический момент $F_i \cdot Z_i, \text{см}^3 \cdot \text{м}$	Переносный момент инерции, $F_i \cdot Z_i^2, \text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	Собственный момент инерции $i_{0i}, \text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	Отстояние от нейтральной оси $Z_i - e, \text{м}$	Напряжения от общего изгиба, МПа	
								$\sigma_{i \text{ в.в.}}$	$\sigma_{i \text{ п.в.}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Лист настила ВП	F_1	Z_1	$F_1 \cdot Z_1$	$F_1 \cdot Z_1^2$	—	$Z_1 - e$	$\sigma_{1 \text{ в.в.}}$	$\sigma_{1 \text{ п.в.}}$
2	Палубный стрингер	F_2	Z_2	$F_2 \cdot Z_2$	$F_2 \cdot Z_2^2$	—	$Z_2 - e$	$\sigma_{2 \text{ в.в.}}$	$\sigma_{2 \text{ п.в.}}$
3	Продольные подпалубные ребра жесткости 4×т166 НП	F_3	Z_3	$F_3 \cdot Z_3$	$F_3 \cdot Z_3^2$	—	$Z_3 - e$	$\sigma_{3 \text{ в.в.}}$	$\sigma_{3 \text{ п.в.}}$
4	Комингс-карлингс ВП: полка	F_4^n	Z_4^n	$F_4^n \cdot Z_4^n$	$F_4^n \cdot Z_4^{n2}$	—	$Z_4^n - e$	$\sigma_{4 \text{ в.в.}}$	$\sigma_{4 \text{ п.в.}}$
	стенка	$F_4^{\text{ст}}$	$Z_4^{\text{ст}}$	$F_4^{\text{ст}} \cdot Z_4^{\text{ст}}$	$F_4^{\text{ст}} \cdot Z_4^{\text{ст}2}$	$i_0^{\text{ст}}$	$Z_4^{\text{ст}} - e$	$\sigma_{4 \text{ в.в.}}$	$\sigma_{4 \text{ п.в.}}$
5	Лист настила НП	F_5	Z_5	$F_5 \cdot Z_5$	$F_5 \cdot Z_5^2$	—	$Z_5 - e$	$\sigma_{5 \text{ в.в.}}$	$\sigma_{5 \text{ п.в.}}$
...

Продолж. табл. 1

Номер связи	Наименование и размер, мм	Пло- щадь связи $F_i, \text{см}^2$	Отсто- яние от оси срав- нения $Z_i, \text{м}$	Стати- ческий момент $F_i \cdot Z_i, \text{см}^2 \cdot \text{м}$	Пере- носный момент инер- ции $F_i \cdot Z_i^2, \text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	Соб- ственный момент инерции $i_{0i}, \text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	Отстояние от ней- тральной оси $Z_i - e, \text{м}$	Напряже- ния от общего изгиба, МПа	
								$\sigma_i^{\text{вв}}$	$\sigma_i^{\text{нв}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	Продольные ребра жесткости второго дна	F_{22}	Z_{22}	$F_{22} \cdot Z_{22}$	$F_{22} \cdot Z_{22}^2$	–	$Z_{22} - e$	$\sigma_{22}^{\text{вв}}$	$\sigma_{22}^{\text{нв}}$
$\sum_{i=1}^{22}$		A		B	C				

В шестую графу записываются значения моментов инерции связей относительно оси сравнения ($\text{см}^2 \cdot \text{м}$), полученные как произведения их площадей F_i на квадрат расстояния Z_i^2 , а в седьмую графу – значения собственных моментов инерции связей i_{0i} ($\text{см}^2 \cdot \text{м}$), полученные по зависимости

$$i_{0i} = \frac{t_i h_i^3}{12} 10^{-4} \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2,$$

где t_i – размер связи по горизонтали (для вертикально расположенных листов – их толщина), см; h_i – размер связи в вертикальной плоскости (для вертикально расположенных связей – их высота), см.

Собственный момент инерции вычисляется для вертикально расположенных связей, таких, как ширстрек, листы бортовой обшивки, днищевые стрингеры и т. д. Для скулового листа значение i_{0n} рассчитывается при высоте h_n , равной его проекции на вертикальную ось, совпадающую с ДП. Собственные моменты инерции горизонтально расположенных связей и связей, размеры которых по вертикали невелики (менее 1–2 % от высоты борта), не рассчитываются и в таблице ставится в соответствующем месте прочерк. Все продольные связи, расположенные в ДП, например вертикальный киль – связь № 16, записываются в таблицу с половиной их толщины, так как другая половина связи будет относиться уже ко второй половине сечения.

Все расчеты выполняются с точностью до четырех значащих цифр. После заполнения первых семи столбцов табл. 1 вычисляются их суммы:

A – площадь эквивалентного бруса – сумма площадей поперечного сечения связей в графе 3, см^2 ;

B – статический момент площади сечения эквивалентного бруса – сумма статических моментов его связей в графе 5, $\text{см}^2 \cdot \text{м}$;

C – момент инерции площади эквивалентного бруса относительно оси сравнения – сумма переносных и собственных моментов инерции поперечных сечений связей, записанная как сумма граф 6 и 7, $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$.

Зная суммы A , B , C , можно определить положение нейтральной оси расчетного сечения (эквивалентного бруса), главный центральный момент инерции площади поперечного сечения относительно нейтральной оси и моменты сопротивления палубы и днища.

Отстояние нейтральной оси, проходящей через центр тяжести сече-

ния, от оси сравнения определяется по зависимости

$$e = \frac{A}{B} \text{ м.}$$

Значение относительной аппликаты нейтральной оси $\mu = e/D$ довольно устойчиво для однотипных судов с подобными поперечными сечениями и колеблется, например, для универсальных сухогрузных судов в диапазоне 0,38...0,42. Чем ближе значение μ к 0,5, тем потенциально выше качество эквивалентного бруса и потенциально меньше металлоемкость продольных связей корпуса судна.

Главный центральный момент инерции расчетного поперечного сечения корпуса судна относительно его нейтральной оси при использовании известного правила пересчета момента инерции для разных осей определяется по следующей зависимости:

$$I_{\text{н.о}} = 2(c - e^2 A) \cdot 10^{-4} \text{ м}^4.$$

Моменты сопротивления поперечного сечения корпуса, м^3 :
палубы

$$W_d = \frac{I_{\text{н.о}}}{D - e};$$

днища

$$W_B = \frac{I_{\text{н.о}}}{e}.$$

Полученные значения $I_{\text{н.о}}$, W_d , W_B являются важнейшими характеристиками поперечного сечения корпуса судна, которые в дальнейшем сравниваются с соответствующими величинами, требуемыми Правилами, что позволяет судить об обеспеченности общей продольной прочности судна.

Важным вопросом как общей, так и местной прочности корпуса судна является величина нормальных и касательных напряжений в его связях.

При общем продольном изгибе корпуса в вертикальной плоскости нормальные напряжения, возникающие в его связях, компенсируют внешний изгибающий момент и определяются по линейной зависимости

$$\sigma_i = \frac{M(Z_i - e)}{I_{\text{н.о}}} \cdot 10^{-3} \text{ МПа}, \quad (2.1)$$

где M – изгибающий момент в расчетном поперечном сечении корпуса, кН·м.

Значения $(Z_i - e)$ – отстояния центра тяжести каждой связи от нейтральной оси – записываются в графу 8 табл. 1.

Для практического определения изгибающего момента M необходима информация о величине и распределении нагрузки и сил поддержания по длине судна, но так как на данном этапе задача определения фактического значения M не ставится (частично она будет рассмотрена во второй части пособия), то рекомендуется использовать известные приближенные расчетные зависимости для вершины и подошвы волны:

для вершины волны расчетный изгибающий момент

$$M = M_{\text{в.в}} = M_{\text{sw}} + M_{\text{wb}};$$

для подошвы волны

$$M = M_{\text{п.в}} = M_{\text{sw}} + M_{\text{wp}},$$

где $M_{\text{sw}} = \frac{\ddot{A}L}{K}$ – изгибающий момент на тихой воде, кН·м;

$\ddot{A} = \ddot{n} \cdot g \cdot C_b \cdot L \cdot B \cdot d$ – водоизмещение судна, кН; $\rho = 1,025$ – массовая плотность морской воды, кН·с²/м⁴; $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с²; $L = (6 \dots 8)B$ – длина судна, м; B – ширина судна, м; d – осадка судна (при ее отсутствии на чертеже задания принять равной 65 % от высоты борта судна), м; C_b – коэффициент общей полноты (при его отсутствии в данных принять $C_b = 0,65 \dots 0,75$ – для сухогрузных судов); K – коэффициент пропорциональности (для выполнения задания по сухогрузным судам длиной 100...140 м с кормовым расположением машинного отделения $K = 45 \dots 50$) [7].

Кроме того, M_{sw} не должен быть менее вычисленного по формуле [8]

$$M_{\text{sw}} = 76C_w BL^2 (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3},$$

где C_w – волновой коэффициент, $C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2}$.

Для сухогрузных судов с кормовым расположением машинного отделения в данном задании знак M_{sw} считается положительным, т. е. судно на тихой воде находится с перегибом.

Волновой изгибающий момент, кН·м:
на вершине волны

$$M_{wb} = 190C_w BL^2 C_b 10^{-3},$$

на подошве волны

$$M_{wp} = -110C_w BL^2 (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3}.$$

После подстановки значения $M_{в.в}$ в формулу (2.1) производится расчет напряжений на вершине волны для всех i -связей. Полученные значения заносятся в графу 9 табл. 1 с соответствующим знаком. (Знаки отображают различные состояния связей – растяжение и сжатие.) Затем после подстановки значения $M_{п.в}$ в формулу (2.1) рассчитываются напряжения на подошве волны также для всех i -связей, а их значения заносятся в графу 10 табл. 1 также с соответствующим знаком.

Полученные значения σ_i для каждой связи эквивалентного бруса являются основой для дальнейшего анализа напряженно-деформированного состояния каждой детали и корпуса судна в целом.

Сравнение напряжений с допускаемыми, редуцирование связей по устойчивости и расчет эквивалентного бруса во втором и последующих приближениях заданием не предусмотрены.

Величина касательных напряжений τ в задании рассчитывается для нескольких характерных точек поперечного сечения и обязательно – на уровне нейтральной оси, где она имеет максимум.

Возникающие при общем изгибе корпуса касательные напряжения определяются по формуле

$$\hat{\sigma} = \frac{NS}{I_{н.о} t} \cdot 10^{-3} \text{ МПа},$$

где N – перерезывающая сила, действующая в данном поперечном сечении корпуса (в задании принято $N = 0,3\Delta$), кН; $S = \sum_{i=1}^m F_i (Z_i - e) \cdot 10^{-4}$ –

сумма статических моментов площадей связей, лежащих выше (ниже) горизонтали, на уровне которой определяются касательные напряжения относительно нейтральной оси, m^3 ; m – количество связей, лежащих выше (ниже) горизонтали, на уровне которой определяются касательные напряжения. Для сечения, изображенного на рис. 6, $m = 10$ (13); t – суммарная толщина листов наружной обшивки, двойных бортов и продоль-

ных переборок для половины сечения по горизонтали, на уровне которой определяются касательные напряжения, m ; $I_{н.о}$ – центральный момент инерции поперечного сечения корпуса относительно нейтральной оси, m^4 .

Полученные результаты представляются в графическом виде в форме эпюр нормальных и касательных напряжений от общего изгиба.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Барабанов Н.В., Турмов Г.П.* Конструкция корпуса морских судов: В 2 т. – С.Пб.: Судостроение, 2002.
2. ГОСТ 1062–80. Размерения надводных кораблей и судов главные. Термины, определения и буквенные обозначения. – Введ. с 01.07.81. – 10 с.
3. ГОСТ 13641–80. Элементы металлического корпуса надводных кораблей и судов конструктивные. Термины и определения. – Введ. с 01.07.81. – 29 с.
4. ГОСТ 18676–73. Морской транспорт. Эксплуатация промыслового флота и портов. Термины и определения. – Введ. с 01.07.74. – 12 с.
5. ГОСТ 23346–78. Эксплуатация транспортного морского флота техническая. Термины и определения. – Введ. с 01.01.80. – 7 с.
6. *Кожухарь И.А., Ткачева П.Е.* Конструирование узлов корпусных конструкций транспортных судов: Учеб. пособие. – Николаев: НКИ, 1981. – 44 с.
7. *Короткин Я.И., Ростовцев Д.М., Сиверс Н.Л.* Прочность корабля. – Л.: Судостроение, 1974. – 432 с.
8. Правила классификации и постройки морских судов. Российский Морской регистр судоходства: В 2 т. – С.Пб.: РМРС, 1999. – Т. 1. – 471 с.
9. *Шиманский Ю.А.* Справочник по строительной механике корабля: В 3 т. – Л.: Судостроение, 1960. – Т. 3. – 798 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1/П. Полособульб несимметричный для судостроения. Сортамент (ГОСТ 21937–76)

Номер профи- ля	Элементы профиля					Элементы профиля с присоединенным пояском				
	Высота стенки	Толщина стенки	Ширина бульба	Площадь, см ²	Момент инерции, см ⁴	Расстоя- ние от центра тяжести, см	Общая площадь, см ²	Момент инерции, см ⁴	Наимень- ший момент сопроти- вления, см ³	Толщина присоеди- ненного пояска, мм
5	50	4,0	16	2,9	7,0	3,1	62,9	44	9	10
5,5	55	4,5	17	3,5	10,2	3,4	63,5	61	12	10
6	60	5,0	19	4,3	15,0	3,7	64,3	87	15	10
7	70	5,0	21	5,1	24,1	4,4	65,1	137	20	10
8	80	5,0	22	5,8	36,2	5,1	65,8	202	25	10
9	90	5,5	24	7,0	55,6	5,7	67,0	295	33	10
10	100	6,0	26	8,6	85,2	6,3	68,6	434	45	10
12	120	6,5	30	11,2	158,0	7,6	71,2	767	68	10
14a	140	7,0	33	14,1	274,0	8,8	74,0	1274	100	10
14б	140	9,0	35	16,9	321,0	8,6	76,9	1398	112	10
16a	160	8,0	36	18,0	468,0	10,0	108/78,0	2200/1980	147/140	15/10
16б	160	10,0	38	21,2	527,0	9,8	111,2/81,2	2434/2190	165/159	15/10
18a	180	9,0	40	22,2	824,0	11,2	112,2/82,2	3280/2860	200/188	15/10
18б	180	11,0	42	25,8	837,0	10,8	115,8/85,8	3530/3130	218/206	15/10
20a	200	10,0	44	27,4	1078,0	12,4	117,4	4730	268	15
20б	200	12,0	46	31,4	1265,0	12,1	121,4	5110	296	15
22a	220	11,0	48	32,8	1611,0	13,5	122,8	6500	343	15

226	220	13,0	50	37,2	1796,0	3,2	127,2	6930	372	15
24а	240	12,0	52	38,8	2232,0	14,7	128,8	8720	434	15
24б	240	14,0	54	43,6	2542,0	14,4	133,6	9250	466	15

Таблица 2П. Полособульб симметричный для судостроения. Сортамент (ГОСТ 9235–76)

Профиль	Элементы профиля						Элементы профиля с присоединенным пояском					
	Высота стенки	Толщина стенки	Ширина бульба	Площадь, см ²	Момент инерции, см ⁴	Расстояние от центра тяжести, см	Площадь присоединенного пояса, см ²					
							50			100		
							$I, \text{см}^3$	$I, \text{см}^3$	$I, \text{см}^3$	$I, \text{см}^3$	$I, \text{см}^3$	$I, \text{см}^3$
935	90	5,5	31,0	6,82	55	5,9	297	34	338	35	347	36
1035	100	5,5	35,5	8,53	84	6,6	450	47	512	50	530	51
1235	120	5,5	37,5	10,15	147	7,4	740	67	842	70	875	71
1446	140	6,0	42,0	13,10	257	9,3	1243	99	1426	104	1498	105
1447	140	7,5	43,5	15,20	300	8,9	1339	108	1530	114	1640	116
1646	160	6,5	48,5	16,47	422	10,7	1970	143	2190	146	2360	147
1658	160	8,0	50,0	18,87	488	10,3	2120	155	2450	163	2620	165
1857	180	7,0	55,0	20,20	656	12,1	2960	198	3420	205	3690	209
1858	180	8,5	56,5	22,90	751	11,7	3120	212	3620	221	3910	226
2068	200	8,4	60,4	26,06	1049	13,2	4250	270	5100	285	5670	291
20610	200	10,0	62,0	29,26	1185	12,9	4510	280	5400	305	5920	312
2268	220	8,0	64,0	28,24	1371	14,8	5570	327	6690	345	7350	352
22610	220	10,0	68,0	33,14	1624	14,3	6010	362	7320	385	8140	394
2468	240	8,5	71,0	33,17	1915	16,2	7530	420	9100	442	10120	451
24710	240	10,5	75,5	38,65	2252	15,9	8100	464	9900	491	11100	504

Профиль	Элементы профиля						Элементы профиля с присоединенным пояском					
	Высота стенки	Толщи- на стен- ки	Шири- на бульба	Площадь, см ²	Момент инерции, см ⁴	Растоя- ние от центра тяжести, см	Площадь присоединенного пояса, см ²					
							50					
	мм		W , см ⁴	I , см ³	W , см ⁴	I , см ³	W , см ⁴	I , см ³	W , см ⁴	I , см ³		
271010	270	10,0	102,0	41,74	3163	18,0	9100	480	11700	525	13500	550
27812	270	12,0	82,0	48,33	3582	17,5	11600	622	13800	660	16600	687
30810	300	10,0	89,0	51,00	4558	20,6	15900	800	20000	850	23200	875
30812	300	12,0	91,0	57,00	5165	20,0	16400	835	20800	895	24300	930

Таблица 3П. Геометрические характеристики симметричных полособульбов 30810 (ГОСТ 9235–76)

Профиль	Элементы профиля				Элементы профиля с присоединенным пояском							
	Высота стенки, мм	Площадь профиля, см ²	Момент инерции, см ⁴	Расстояние от центра тяжести, см	Площадь присоединенного пояса, см ²							
					50							
					$W, \text{ см}^4$	$I, \text{ см}^3$	$W, \text{ см}^4$	$I, \text{ см}^3$	$W, \text{ см}^4$	$I, \text{ см}^3$	$W, \text{ см}^4$	$I, \text{ см}^3$
30810h180	180	39,0	1031	13,1	5100	411	6500	435	7390	446		
30810h200	200	41,0	1423	14,4	6500	472	8100	499	9300	511		
30810h220	220	43,0	1885	15,7	8040	534	10050	563	11500	578		
30810h240	240	45,0	2425	17,5	9700	595	12200	633	14000	651		
30810h250	250	46,0	2735	17,7	10650	628	13325	668	15375	687		
30810h260	260	47,0	3046	18,2	11600	661	14550	704	16750	723		
30810h280	280	49,0	3755	19,4	13600	730	17200	776	19800	798		

30810h300	300	51,0	4558	20,6	15900	800	20000	850	23200	875
30810h320	320	53,0	5458	21,8	18200	860	23000	926	27800	963
30810h340	340	55,0	6462	23,0	21000	941	26500	1000	30800	1030
30810h360	360	57,0	7575	24,1	23800	1010	30100	1080	36400	1120
30810h380	380	59,0	8800	25,3	26900	1090	34000	1160	39700	1210
30810h400	400	61,0	10145	26,4	30100	1170	38000	1250	44700	1290
30810h420	420	63,0	11615	27,5	33600	1250	42500	1330	50000	1390

Примечание. Указанные профили получены путем раскроя полосульбов 30810, изготовленных в двойном виде с общей высотой профиля, равной 600 мм.

Таблица 4П. Геометрические характеристики симметричных полосульбов 30812 (ГОСТ 9235–76)

Профиль	Элементы профиля				Элементы профиля с присоединенным пояском					
	Высота стенки, мм	Площадь профиля, см ²	Момент инерции, см ⁴	Расстояние от центра тяжести, см	Площадь присоединенного пояска, см ²					
					50		100		200 и больше	
					W_y , см ⁴	I_y , см ³	W_y , см ⁴	I_y , см ³	W_y , см ⁴	I_y , см ³
30812h180	180	42,6	1216	12,7	5300	425	425	453	7600	465
30812h200	200	45,0	1645	14,0	6500	485	485	507	9200	520
30812h220	220	46,4	2158	15,2	8200	554	554	590	12000	610
30812h240	240	49,8	2762	16,5	10000	620	620	663	14600	685
30812h250	250	51,3	3113	17,1	10950	656	656	681	15850	700
30812h260	260	52,5	3460	17,7	11900	692	692	700	19100	715
30812h280	280	54,6	4260	18,8	14100	765	765	815	20700	845
30812h300	300	57,0	5165	20,0	16400	839	839	895	24300	930

Профиль	Элементы профиля				Элементы профиля с присоединенным пояском					
	Высота стенки, мм	Площадь профиля, см ²	Момент инерции, см ⁴	Расстояние от центра тяжести, см	Площадь присоединенного пояса, см ²					
					50		100		200 и больше	
					W , см ⁴	I , см ³	W , см ⁴	I , см ³	W , см ⁴	I , см ³
30812h320	320	59,4	6181	21,2	19000	915	915	980	28200	1010
30812h340	340	61,8	7314	22,3	21700	990	990	1060	32400	1100
30812h360	360	64,2	8568	23,4	24700	1070	1070	1150	37000	1195
30812h380	380	66,6	9949	24,5	27900	1150	1150	1240	42000	1290
30812h400	400	69,0	11461	25,7	31400	1230	1230	1330	47300	1390
30812h420	420	71,4	13110	26,8	35100	1320	1320	1420	53000	1490

Примечание. Указанные профили получены путем раскроя полособульбов 30812, изготовленных в двойном виде с общей высотой профиля, равной 600 мм.

Таблица 5П. Тавры стальные сварные для судов (РД 5. 9373–80)

Номер профиля	Элементы профиля					Элементы профиля с присоединенным пояском							
	Стенка		Поясок		Площадь, см ²	Момент инерции, см ⁴	Момент сопротивления, см ³	Площадь присоединенного пояса, см ²					
	Высота	Толщина	Ширина	Толщина				50		100		200	
								W, см ⁴	I, см ³	W, см ⁴	I, см ³	W, см ⁴	I, см ³
	мм												
14	140	4	80	6	10,4	229	22	1190	92	1380	92	—	—
166	160	5	100	8	16,0	453	37	2400	168	2550	169	—	—
186	180	5	100	10	19,0	670	48	3350	230	3800	235	—	—
206	200	6	100	10	22,0	1001	68	4400	270	5050	280	—	—
226	200	6	120	12	27,6	1459	86	6600	395	8000	400	—	—
25a	250	6	120	12	29,4	2042	118	10900	450	13000	470	—	—
28a	280	7	120	12	34,0	3050	151	11600	540	13600	560	—	—
32a	320	8	140	12	45,2	5280	228	18200	835	22200	870	26000	890
326	320	8	160	16	51,2	5797	237	21000	970	25500	1000	30000	1020
36a	360	8	160	16	54,4	7900	295	26000	1120	34000	1180	39000	1220
40a	400	10	180	14	65,2	11960	428	35000	1370	42500	1430	50000	1480
45a	450	10	200	14	73,0	16880	538	46000	1700	58000	1770	70000	1820
50a	500	12	220	16	95,2	28180	816	68000	2350	87000	2600	108000	2750
56a	560	14	250	18	123,4	44370	1150	99000	3000	128000	3600	160000	3880
63a	630	14	300	20	148,2	66880	1490	42000	4600	175000	5100	235000	5400
71a	710	16	360	22	192,8	11200	2180	20000	6600	280000	7100	365000	7600
80a	800	18	360	22	223,2	163000	2980	90000	7700	380000	8500	490000	9200

Учебное издание

МИХАЙЛОВ Борис Николаевич

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических заданий
по конструкции корпуса судна

Часть I
(на русском языке)

Редактор *М.П. Фомина*
Компьютерная правка и верстка *О.Н. Череватая*
Корректор *Н.А. Шайкина*

Свідोцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 1150 від 12.12.2002 р.

Подписано к печати 18.01.06. Бумага офсетная. Формат 60×84/16.
Печать офсетная. Гарнитура "Таймс". Усл. печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,6.
Тираж 200 экз. Изд. № 44. Зак. № 17. Цена договорная.

Издатель и изготовитель Национальный университет кораблестроения,
54002, г. Николаев, ул. Скорородова, 5



ДЛЯ ЗАМЕТОК



ВИДАВНИЦТВО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ



Шановні панове!

Запрошуємо Вас ознайомитись з можливостями книжкового видавництва, висококваліфіковані спеціалісти якого забезпечать оперативне та якісне виконання замовлення будь-якого рівня складності.

Наш головний принцип – задовольнити потреби замовника у повному комплексі поліграфічних послуг, починаючи з розробки та підготовки оригіналу-макета, що виконується на базі IBM PC, і закінчуючи друком на офсетних машинах.

Крім цього, ми маємо повний комплекс післядрукарського обладнання, що дає можливість виконувати:

- ✓ аркушепідбір;
- ✓ брошурування на скобу, клей;
- ✓ порізку на гільйотинах;
- ✓ ламінування.

Видавництво також оснащено сучасним цифровим дублюкатором фірми "Duplo" формату А3, що дає можливість тиражувати зі швидкістю до 130 копій за хвилину.

Для постійних клієнтів – гнучка система знижок.

Отже, якщо вам потрібно надрукувати **підручники, книги, брошури, журнали, каталоги, рекламні листівки, прайс-листи, бланки, візитні картки**, – ми до Ваших послуг.

© Національний університет кораблебудування

✉ Україна, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5,
видавництво НУК

☎ 8(0512) 37-33-42; 39-81-46, 39-73-39, fax 8(0512) 39-73-26;